

영암-해남 연약지반의 압밀도 변화에 따른 최종침하량 비교분석

Comparative Analysis of Final Consolidation Settlement by Degree of Consolidation in Soft Soils of Yeongam-Haenam Areas

김 태 완¹ Kim, Tae-Wan
남 건² Nam, Geon
김 재 홍³ Kim, Jae-Hong

Abstract

To effectively improve soft soils, it is necessary to perform ground behavior characteristics and stability management through measurement activities when embankment of structures on soft soils is conducted. However, there are many differences between the actual ground behavior and the initial design plan. To address this issue, this study analyzed the measured settlement in the Yeongam-Haenam areas using the Hyperbolic method to predict the settlement based on the measurement data. From the completion time of the embankment in the target area, the final settlement was predicted through the change in the degree of consolidation by the measurement period. Furthermore, the final settlement according to the change in degree of consolidation was compared and analyzed through finite element analysis and field measurement.

요 지

효과적인 연약지반 개량을 위해서는 연약지반 위에 구조물의 축조나 성토를 진행할 시 계측활동을 통하여 지반의 거동특성 및 안정관리를 실시하여야 한다. 연약지반의 여러 현장에서 계측관리가 필요하고 그에 따른 침하량 예측방법을 적용할 때 최종침하량의 정확성이 향상된다. 그러나 이는 실제 지반의 거동과 초기 설계 계획과 많은 차이점을 보이고 있다. 이러한 설계상의 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 계측자료를 토대로 장기침하량을 예측하는 방법인 쌍곡선법(Hyperbolic method)를 사용하여 연구대상지역인 전남 영암-해남 연약지반의 계측침하량을 분석하였다. 대상지역의 최종 압밀성토가 종료된 시점부터 계측기간별 압밀도의 변화를 통하여 최종침하량을 예측하였으며, 압밀도의 변화에 따른 최종침하량을 유한요소해석과 현장계측값을 비교·분석하였다.

Keywords : Degree of consolidation, Hyperbolic method, Long term settlement, Settlement prediction, Soft soils

1 정회원, 동신대학교 토목공학과 박사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Dongshin Univ.)

2 정회원, 동신대학교 토목공학과 박사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil and Environmental Engrg., Dongshin Univ.)

3 정회원, 동신대학교 토목공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil and Environmental Engrg., Dongshin Univ., Tel: +82-61-330-3133, woghdjfk@gmail.com, Corresponding author, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2024년 3월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

1. 서론

우리나라의 경우 지역 간 균형발전과 효율적인 토지 사용을 위한 목적으로 도로, 항만, 공항 등의 건설이 연약지반 위에서 실시되고 있다. 현재 연약지반 위 구조물의 축조나 성토를 진행할 경우 지반의 지지력 부족으로 인하여 과도한 압밀침하 및 전단파괴와 같은 지반공학적인 문제가 지속적으로 발생하고 있다. 특히, 국내 서남해안 지역의 경우 연약지반이 비교적 두껍게 발달하였으며 연약지반 위에 축조되는 각종 건축물 및 구조물의 경우 필연적 하중에 의하여 지반의 장기침하가 발생하게 된다. 이에 효과적인 연약지반 개량을 위하여 연약지반에서의 성토 시 계층을 통하여 지반의 거동과 토질 특성상의 변화예측 및 안정관리를 실시하고 적용성이 높은 계층관리 및 침하예측방법을 연구함으로써 구조물에 발생하는 피해를 최소화하기 위한 노력을 해왔다(Chun, 2010).

그러나 침하량을 예측하는 데 있어 실제 현장에서 실시한 계층자료와 설계 시에 예측한 지반거동 간에는 많은 차이를 보이고 있다. 이는 통상적으로 지반조사를 진행할 경우 100m 이상의 간격으로 지층을 선형으로 분석하고 있지만, 연약지반 지층의 깊이는 좁고 간격의 사이에서도 너무 불균질하게 분포하고 있어 침하량의 차이가 나타나게 된다. 시공현장의 불교란시료를 채취하여 실내시험으로 얻어낸 지반정수들의 값들이 일정하지 못하고 현장조건과 부합되는 설계를 실시한다고 해도 예측되는 거동과는 100% 일치시킨다는 것은 현실적으로 불가능하다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 현장에서는 계층기를 설치하여 침하관리를 실시하고 날짜별로 침하량을 압밀도에 따라 예측한다(Park, 2023).

침하량을 예측하는 방법에는 경험에 의한 방법인 쌍곡선법(Tan, 1994), Hoshin법(Hoshino, 1962), \sqrt{S} 법(Lee et al., 2010), log S 법(Yoo et al., 2000) 등이 있으며, Asaoka

법(Asaoka, 1978)과 Monden법(Monden, 1963)은 이론적으로 유도되는 방법으로 국내 연약지반 현장에서 가장 널리 사용되는 방법이다. 현재 다양한 침하량 추세 분석 방법이 제안되었으며, 국내 시공 현장에서는 쌍곡선법이 가장 널리 사용되고 있다(Choo et al., 2010). 이에 본 연구에서는 두터운 연약지반 층이 넓게 분포하고 있는 전남 영암-해남 관광·레저형 기업도시 진입도로 개설공사 현장을 토대로 2차 압밀 침하량을 내포하고 있는 쌍곡선 법(Hyperbolic method)을 적용하였다. 최종 압밀 성토가 종료된 시점으로부터 전체 침하기간 10, 20, 30, 40, 45, 50, 60, 70%의 압밀침하 데이터를 적용하여 최종적인 침하량을 비교·분석하였다. 또한 예측 기법의 정밀도와 적용성을 높이기 위하여, 실제 공사현장의 실측 데이터와 비교하였으며, 유한요소해석(Plaxis, 2018) 결과와 비교함으로써 침하량 예측 신뢰도를 검증하였다.

2. 연구대상지역의 지반특성

2.1 대상지역 연약지반 특성

본 연구대상 지역인 전남 영암-해남 관광레저형 기업도시 진입도로 개설공사 OO공구 현장을 대상으로 지반 조사를 실시하였으며, 채취한 시료를 통하여 실내시험을 진행하여 Fig. 1과 같이 연약지반의 구역을 구분하였다. 실내시험 및 현장시험의 결과를 토대로 지층별 대포 값을 선정하였으며 각종 시험 결과 및 경험식을 적용하여 분석하였다. Fig. 1(a)와 같이 과업구간내 분포하는 지층별 특성에 알맞는 실내시험결과를 위주로 문헌자료, 적용사례 및 경험식 등 검토결과와 종합적으로 분석하여 설계지반 정수를 산정하였고 산정결과는 Table 1과 같다.

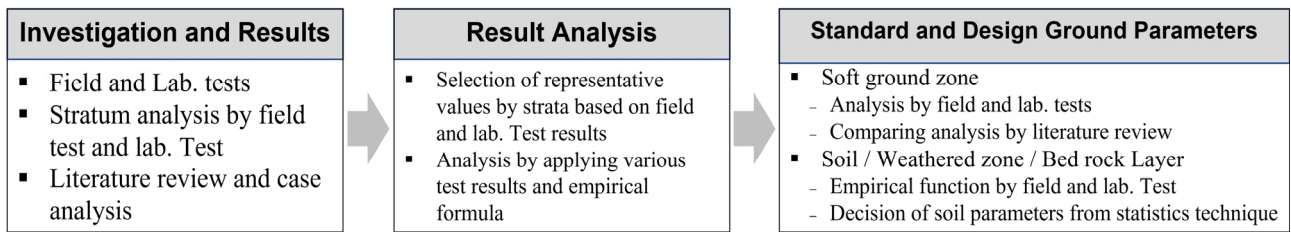
대상지역의 연약층 심도별 지반물성치(강도특성 및 압밀정수 등)를 고려하여 구역 구분을 설정하였고, 구간

Table 1. Result of calculation of design ground constant for soil and weathered rock layer

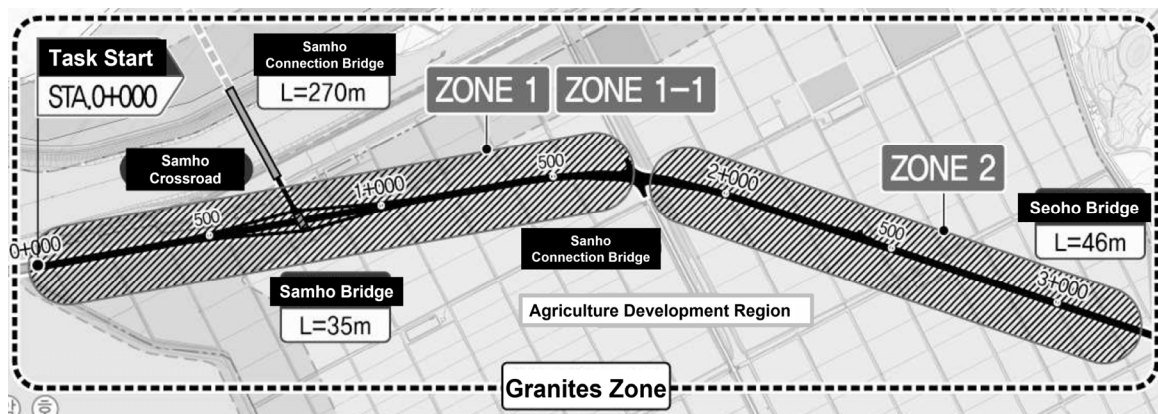
Soil type	Unit weight (kN/m^3)	Cohesion (kPa)	Friction angle (°)	E modulus (MPa)	Poisson's ratio	
Reclamation layer	18.0	5	25	7	0.35	
Sedimentary strata	Soft clay	17.0	Value for each zone	0	0.6	0.40
	Cohesive soil	18.5	55	0	8	0.38
	Sandy soil	19.0	0	28	15	0.35
Weathered soil	19.5	25	30	50	0.33	
Weathered rock	21.0	30	33	250	0.30	

Table 2. Calculation result of design ground constant for each soft soils section

Type	ZONE 1		ZONE-2	
	Upper section of soft clay (ZONE 1)	Lower section of soft clay (ZONE 1-1)		
Physical properties	Liquid limit (LL, %)	64.5	37.2	64.6
	Plastic limit (PI, %)	36.8	14.8	36.7
	Unit weight (γ_t , kN/m^3)	16.7	18.5	16.8
Consolidation characteristics	Corrected compression index (C_c')	0.52	0.27	0.50
	Vertical coefficient of consolidation (C_v)	0.41~2.55 ($\times 10^{-3} cm^2/s$)	1.52~4.26 ($\times 10^{-3} cm^2/s$)	0.32~3.18 ($\times 10^{-3} cm^2/s$)
	Vertical coefficient of permeability (K_v)	0.09~2.86 ($\times 10^{-7} cm/s$)	0.16~8.35 ($\times 10^{-7} cm/s$)	0.06~2.38 ($\times 10^{-7} cm/s$)
	Void ratio (e_0)	1.572	0.853	1.561
Strength characteristics	Undrained shear strength (S_u , KPa)	$1.83 \times D_z + 0.07$	$17.61 \times D_z - 0.07$	$26.11 \times D_z - 24.3$
	Strength increase rate (m)	0.28	Upper section 14m: 0.45 / Lower section 14m: 0.37	0.22



(a) Calculation method of design ground parameters



(b) Yeongam-Haenam site's soft ground section

Fig. 1. Yeongam-Haenam Tourism and Leisure Enterprise city access road establishment construction ground investigation report (2015)

별 지층분포 특성과 다양한 수평·연직 압밀 시험을 통하여 설계정수를 산정하였다. 연약지반의 물리적, 역학적 실험결과 Table 2와 같다.

구분한 연약지반의 압밀침하 특성을 관찰하기 위하여 선행재하공법을 적용한 후 침하판을 설치하여 침하량을 계측하였으며, 분석시 모든 지역에서 압밀침하가

완료되어 침하량이 수렴하는 것으로 판단되는 최종 계측 침하량을 최종 침하량으로 고려하였다. 결국 최종적인 현장계측 자료들을 모두 취합하여 본 연구 대상지의 최종압밀 침하량을 비교·분석하였고, 대표 지반물성치 역시 남아 있는 최종침하량 계측 위치에 맞추어 자료를 분석하였다. Zone 1 구간 내 깊은 점토층(Zone 1-1)을

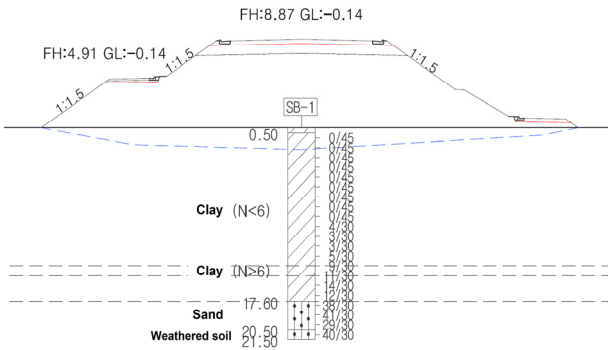


Fig. 2. Standard cross section of analytical section (STA.0+020)

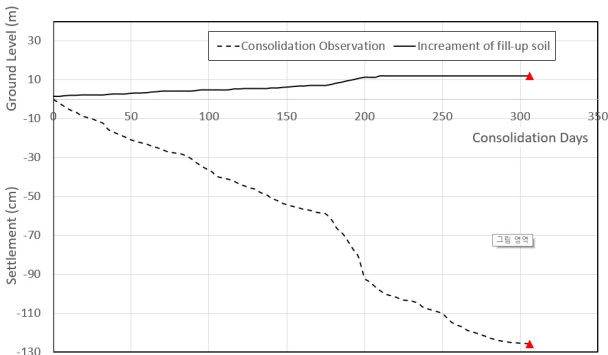


Fig. 3. Field measurement data of analysis section (STA.0+020)

포함하고 있는 STA.0+020 구간을 대표단면으로 설정하였고, 대표단면의 표준 단면도는 Fig. 2와 같으며 최종 성토고의 높이 및 계측침하량은 Fig. 3과 같다.

3. 쌍곡선법을 통한 압밀기간별 최종침하량 산정

연약지반 층이 두껍게 발달한 영암-해남 관광레저형 기업도시 진입도로 개설공사 OO공구에 대하여 2차 압밀침하량을 내포하고 있는 쌍곡선법을 활용하여 압밀도의 변화에 따른 최종 침하량을 예측하였다. 또한 쌍곡선법의 예측 정확성을 알아보기 위하여 유한요소해석을 통한 역해석을 실시하였으며, 실제 현장계측침하량과 쌍곡선법으로 예측한 최종침하량 그리고 유한요소해석으로 역해석한 침하량을 각각 비교하였다. 연구대상지역에 대한 쌍곡선법 계수결정을 위하여 S_0 의 결정은 최종성토가 종료된 시점을 기준으로 하였으며, 기준시점의 날로부터 압밀도(침하기간, %)의 차이에 따른 최종 침하량을 예측하여 현장계측 값과의 차이점을 비교하였다.

3.1 쌍곡선법(Hyperbolic Method)

Fig. 4와 같이 침하속도가 쌍곡선적으로 감소한다는 가정에 따른 것으로 현장계측에 의하여 얻어진 침하-시간관계에서 침하량을 추정할 수 있다(Korea Geo-Environmental Society, 2005). 성토가 종료된 후 일정한 하중상태가 된 시점에 초기침하량 및 침하량의 계측자료를 바탕으로 장기침하량을 산출하는 방법이며, 쌍곡선 법(Hyperboilc method)에 의한 장기침하량 산출 방법은 다음 식 (1)과 같다.

$$S_t = S_0 + \frac{t - t_0}{\alpha + \beta(t - t_0)} \quad (1)$$

여기서, S_t : 임의의 시간 t 에서의 침하량

S_0 : 성토완료 직후의 침하량

t : 성토종료 시점으로부터 경과시간

t_0 : 성토종료 직후의 시간

α : 하중크기에 관련된 y 축의 절편

β : 성토속도에 관련된 기울기

또한 Fig. 5와 같이 경과시간에 대한 침하량의 비 $\left(\frac{t - t_0}{S_t - S_0}\right)$ 를 Y 축으로 하고, 성토종료 시점으로부터 경과시간($t - t_0$)을 X 축으로 하는 그래프를 작도할 수 있다. 각각의 좌표점들을 하나의 직선으로 표현하기 위하여 1차원적 직선식의 회귀분석을 통해 y 절편 α 와 기울기 β 를 구할 수 있으며, $t = \infty$ 일 때의 최종침하량(S_f)는 다음 식 (2)와 같다.

$$S_f = S_0 + \frac{1}{\beta} \quad (2)$$

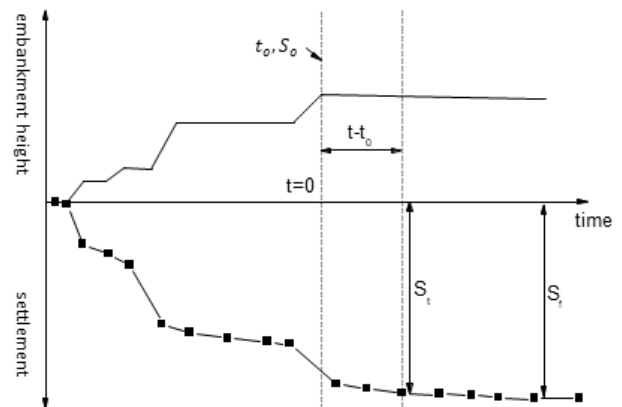


Fig. 4. Settlement-time relationship

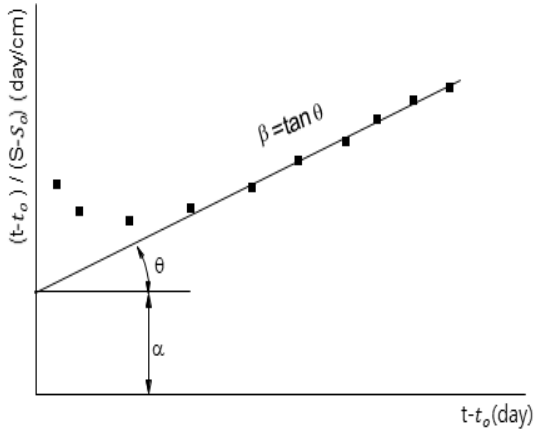


Fig. 5. Hyperbolic method coefficient determination

여기서, S_f : $t = \infty$ 일 때의 침하량
 S_0 : 성토완료 직후의 침하량
 β : 성토속도에 관련된 기울기

3.2 쌍곡선법(Hyperbolic method) 계수 산정

본 연구대상지역인 영암-해남 관광레저형 기업도시

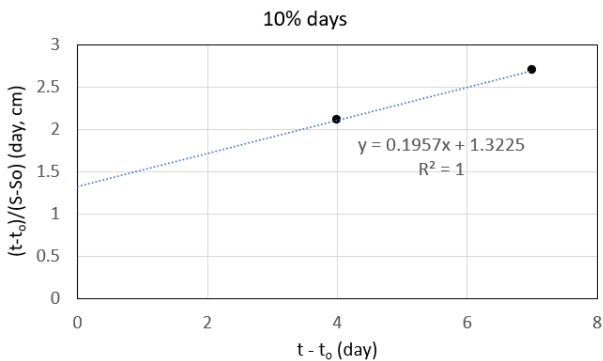


Fig. 6. Trend line for coefficient calculation (Degree of consolidation 10% α , β)

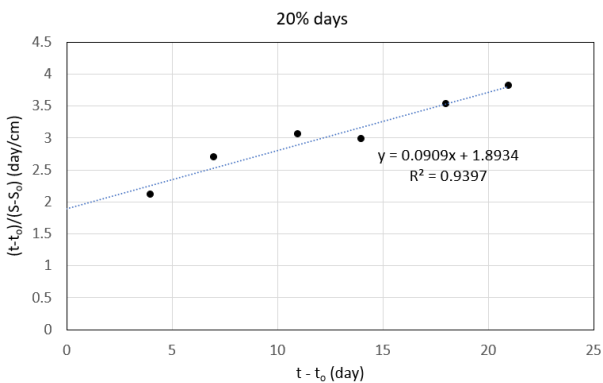


Fig. 7. Trend line for coefficient calculation (Degree of consolidation 20% α , β)

진입도로 개설공사 OO공구에서 현장계측을 통하여 불안정한 대표단면을 선정한 후, 압밀도(침하기간, %) 별로 나누어 침하량을 예측하였다. 현장계측자료를 활용하여 $(t-t_0)/(S-S_0)$ 인 세로 Y축과 $t-t_0$ 인 가로 X축에 대하여 1차원적 직선 회기분석을 실시하였고, 기울기 β 와 침하량의 비를 나타내는 Y축 절편 α 를 산정하였다. 산정한 α , β 값을 다음 Fig. 6~13과 같이 압밀도별 침하

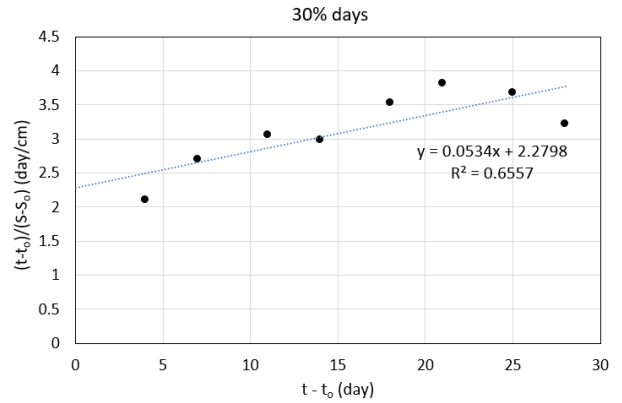


Fig. 8. Trend line for coefficient calculation (Degree of consolidation 30% α , β)

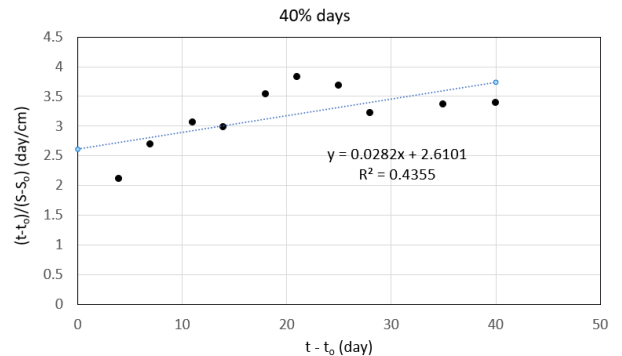


Fig. 9. Trend line for coefficient calculation (Degree of consolidation 40% α , β)

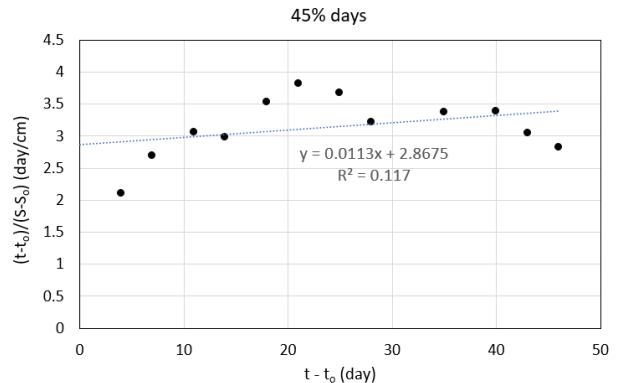


Fig. 10. Trend line for coefficient calculation (Degree of consolidation 45% α , β)

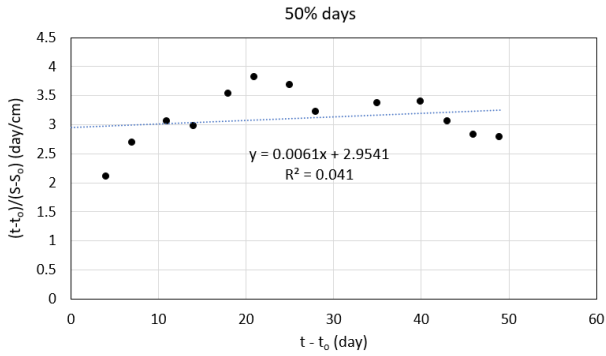


Fig. 11. Trend line for coefficient calculation (Degree of consolidation 50% α , β)

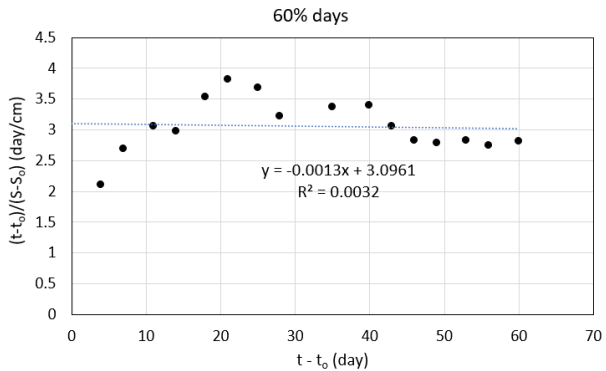


Fig. 12. Trend line for coefficient calculation (Degree of consolidation 60% α , β)

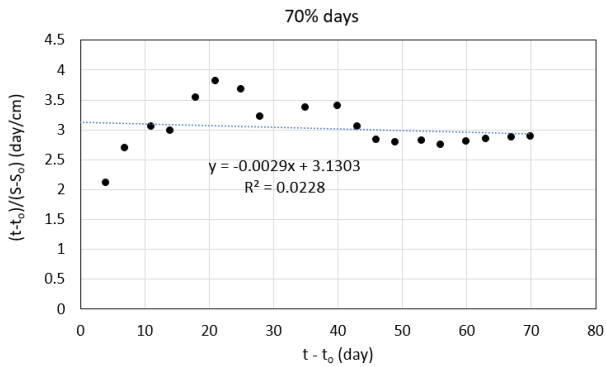


Fig. 13. Trend line for coefficient calculation (Degree of consolidation 70% α , β)

량 정보를 통하여 각각의 계수를 구하였으며, Table 3은 압밀도(침하기간, %)에 따른 계수들의 변화 값을 정리하여 나타내었다.

3.3 쌍곡선법에 의한 최종침하량 산정

압밀도(침하기간, %)에 따른 침하량을 산출하기 위하여 산정한 계수 α , β 값을 바탕으로 임의의 시간 t 에서의 최종침하량을 쌍곡선법을 활용하여 산정하였다. 연구대상지역인 영암-해남 연약지반에서 현장계측을 통한 최종침하량은 125.9cm가 발생하였으며, 압밀기간별 10, 20, 30, 40, 45, 50, 60, 70%에 해당하는 압밀자료를 통하여 최종침하량을 Fig. 14와 같이 쌍곡선법에 의한 예측값과 현장 계측값과 비교하였다.

Table 3에서 선형 회귀 모형이 실제 데이터를 얼마나 잘 설명하는지 나타내는 결정계수(R^2)를 비교하였다. 쌍곡선법으로 산정하는 초기 10~40%까지의 선형 정확성은 비교적 높았지만, 40% 이상 데이터에서는 선형 경향성을 참고하여 쌍곡선법의 최종 압밀침하량을 산정

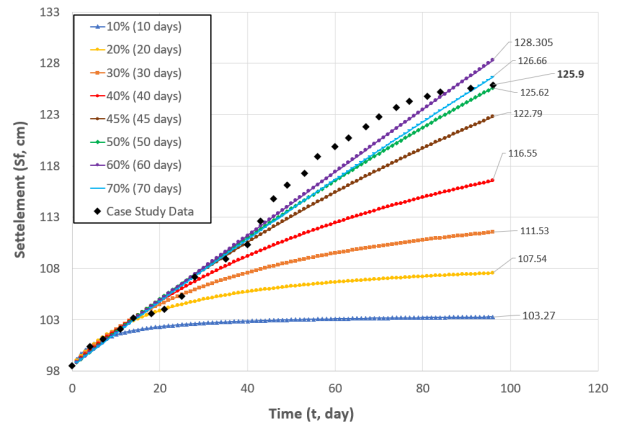


Fig. 14. Comparison of case study data and degree of consolidation by hyperbolic method

Table 3. Calculation of α , β by subsidence period by hyperbolic method

Section	y-intercept α	Inclination β	R^2
Duration of settlement (10%)	1,322	0,195	1
Duration of settlement (20%)	1,893	0,0909	0,9397
Duration of settlement (30%)	2,280	0,053	0,6557
Duration of settlement (40%)	2,610	0,0282	0,4355
Duration of settlement (45%)	2,867	0,0113	0,117
Duration of settlement (50%)	2,954	0,006	0,041
Duration of settlement (60%)	3,096	0,0013	0,0032
Duration of settlement (70%)	3,130	0,0029	0,0228

한 결과 현장계측 압밀침하량 값들에 접근하고 있음을 확인하였다(Fig. 14).

Fig. 14는 압밀기간별 산정한 계수 α , β 를 바탕으로 그림 내에 최종침하량을 도시하였으며, 현장계측침하량 (125.9cm)과 비교하여 나타내었다. 본 연구 대상지인 영

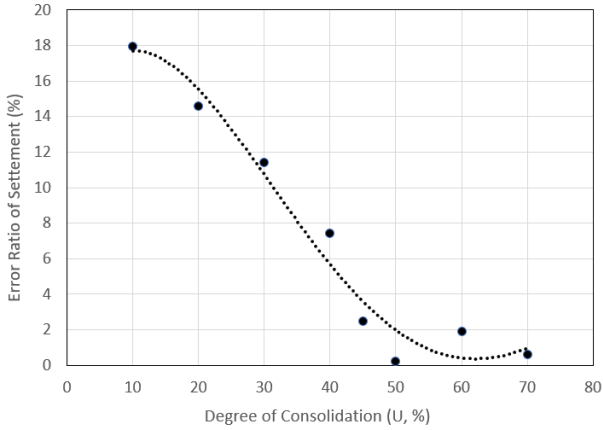


Fig. 15. Settlement error rate according to degree of consolidation

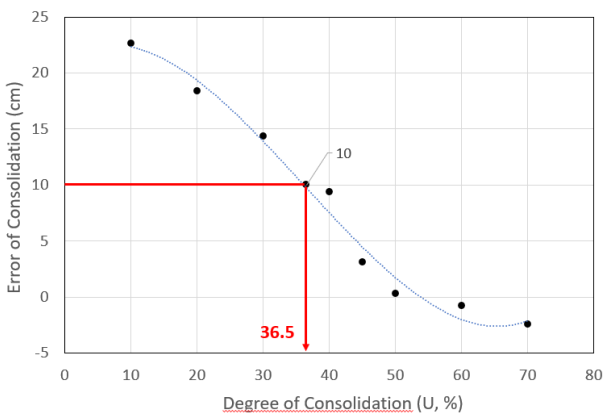


Fig. 16. Result of calculation of design allowable residual settlement of Yeongam-Haenam soft soils

암-해남 연약지반에서는 압밀도가 50%일 경우 쌍곡선 법으로 예측한 최종침하량이 현장계측침하량과 0.2% 차이로 가장 근접한 결과값을 보여주고 있다.

압밀기간 별 산출한 최종침하량을 바탕으로 Fig. 15와 같이 침하량 오차율을 정리하였고, 초기 10%의 압밀 침하 데이터를 이용하여 얻은 최종침하량은 18.0% 오차를 보여주며 가장 큰 오차율을 보여주고 있었다. 각 압밀기간별 산출한 최종침하량을 통하여 연약지반 설계허용잔류침하량인 10cm 이내로 예측할 수 있는 압밀도의 범위를 Fig. 16과 같이 산정하였다. 그 결과 영암-해남 연약지반 현장에서는 설계허용잔류침하량(10cm) 이내의 안전한 시공을 위해서는 대략 37% 이상의 압밀 데이터를 적용하여 최종침하량을 예측해야 한다는 것을 확인할 수 있었다.

3.4 유한요소해석을 통한 압밀침하량 예측

연약지반 시공 현장에서는 압밀 초기 대략 10% 정도의 압밀 데이터를 이용하여 예측하는 최종침하량은 설계허용잔류침하량 10cm 이상의 오차를 대부분 포함하고 있기 때문에 유한요소해석이나 수치해석의 검증이 필요하다. 이에 본 연구에서는 현장의 지층요소 및 구성 요소에 대한 활성화 또는 하중의 작용, 지하수의 변화 등에 의한 시공 단계를 현실적으로 시뮬레이션이 가능한 유한요소해석 프로그램(Plaxis, 2018)을 통하여 최종 침하량에 대한 검증을 진행하였으며, 지층의 깊이별 침하량 예측을 수행하였다.

Fig. 17은 현장 표준단면도에 맞게 Zone-1 점토, Zone 1-1 점토, 사질토, 풍화토로 구성되어 있으며, 지하수위

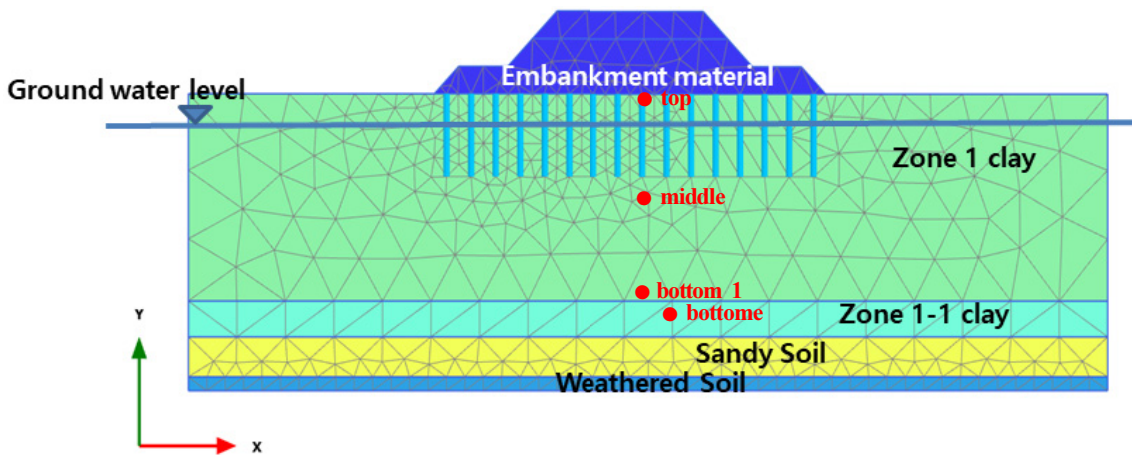


Fig. 17. Finite element analysis of the STA,0+020 section geometry (Plaxis, 2018)

위치는 -1.6 m에 위치하고 있다. 연직배수재는 총 16개로 0.2m 간격으로 설치하였다. 표준단면도에 맞게 단면을 형성한 후 1차 압밀 성토재를 10일 동안 압밀시켰으며, 2층 압밀성토재는 성토를 진행한 후 총 300일 동안 압밀을 진행시켰다. 지층의 위치에 따른 압밀 진행과정을 확인하기 위하여 지층 심도별로 node 4점을 Fig. 17에서 지정한 것과 같이 결정하였다. 각 점의 위치는 가장 빠르게 압밀이 진행될 거 같은 곳에 위치시켰으며, 그 위치는 압밀성토재의 하단 중앙지점(node 2024, top 1), Zone 1 점토의 중앙지점(node 2238, middle 1), Zone 1 점토의 중앙 하부지점(node 2460, bottom 1), Zone 1-1 점토의 중앙지점(node 2573, bottom 2)으로 위치시켰다.

유한요소해석 결과 압밀도가 가장 빠른 위치는 top 1 위치이며, 발생한 침하량은 129.4cm의 침하량이 발생하였다. 이는 현장 지반조사와 실내실험결과를 바탕으로 산출한 지반정수값(Table 1)과 압밀데이터(Table 2)를

바탕으로 예측한 최종침하량이다. 또한 각 지층의 위치별 압밀시간에 따른 압밀최종침하량은 Fig. 18과 같다.

Table 4는 압밀시간별 압밀도(%)에 따른 계측 자료를 적용함으로써 쌍곡선법으로 예측한 최종침하량과 유한요소해석으로 예측한 침하량, 현장계측침하량을 비교하여 보여주고 있다. 압밀 데이터를 10, 20, 30, 40, 45, 50, 60, 70%의 8가지 경우로 분석한 최종침하량에서 본 연구대상지역인 영암-해남 연약지반 지층에서는 50%의 압밀도에서 압밀데이터를 적용한 예측값이 현장에서 계측한 최종침하량에 제일 근접하고 있는 것을 알 수 있다. 일반적으로 압밀도 10%의 압밀 데이터를 적용하여 얻은 최종 침하량의 오차범위는 15~20% 이내이며, 이 범위는 허용 잔류침하량 10cm 이상으로 예측하기 때문에 연약지반 위에 시공되는 구조물들의 많은 불안정성을 내포하고 있는 것이다(Kim et al., 2022).

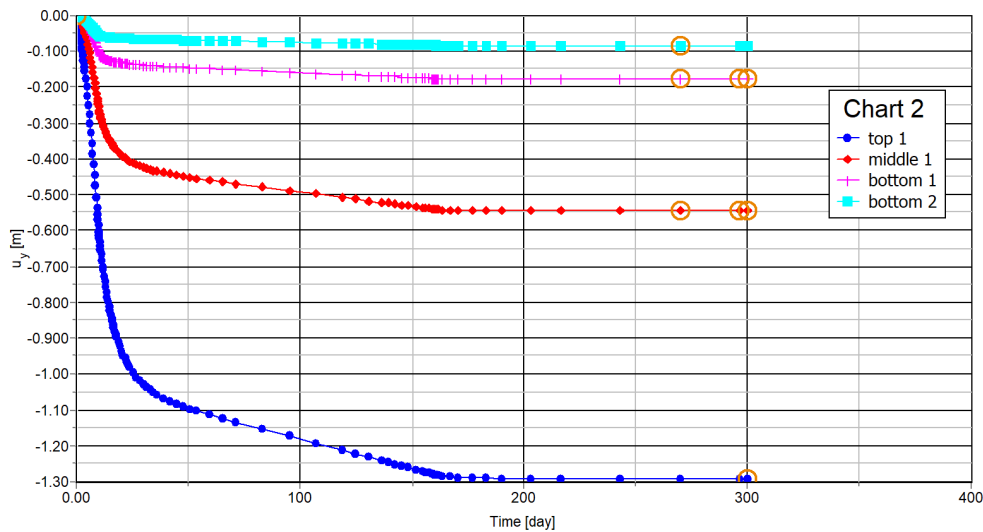


Fig. 18. Comparison of subsidence by depth of stratum through finite element analysis

Table 4. Comparison of settlement according to Degree of consolidation by analysis method

Application of data according to Degree of consolidation period	Predicted settlement by hyperbolic method (cm)	Error rate (%)	Finite element analysis final settlement (cm)	Field measurement settlement (cm)
10%	103.27	18.0	129.4 (top 1) error rate (2.8%)	125.9
20%	107.54	14.6		
30%	111.53	11.4		
40%	116.55	7.4		
45%	122.79	2.5		
50%	125.62	0.2		
60%	128.31	0.6		
70%	126.66	1.9		

4. 결 론

본 연구에서는 영암-해남 관광레저형 기업도시 진입 도로 개설공사 OO공구를 대상으로 현장계측자료를 토대로 2차 압밀량을 계산하는 쌍곡선법을 압밀기간별(압밀도, %)에 따른 최종침하량 예측방법에 대한 분석을 구체적으로 제시하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 본 연구대상지역의 경우 연약지반 두께가 20m 정도로 두꺼운 지층의 형태를 띠고 있어 2차 압밀량을 추가로 계산해야하는 상황이며, 현장에서 최종침하량을 예측하기 위하여 다양한 이론방정식을 이용하지만 본 지역에 맞는 쌍곡선법(Hyperbolic method)으로 1차 압밀 완료 후, 2차 압밀에 대한 침하량 계산이 필요하다고 판단된다.
- (2) 초기 압밀과정(압밀도 10%)을 파악하여 예측한 최종 침하량의 경우 현장에서 계측된 값과 18% 오차가 발생하였고, 이에 설계허용잔류침하량 이상인 22.63cm가 추가로 발생하여 교량기초나 옹벽등에 큰 변위가 발생할 수 있어 불안정성을 내포하고 있다.
- (3) 초기 압밀과정(압밀도 10%)에서 최종침하량을 예측하기 위해서는 현장거동과 유사하게 압밀도 진행이 묘사가 되는 유한요소해석으로 최종침하량을 예측하였을 때, 2.8%오차가 발생하였으며 이는 3.5cm로서 설계허용잔류침하량 이내로 예측할 수 있었다.
- (4) 최종적으로 본 연구대상지역인 영암-해남의 연약지반 현장은 2차 압밀이 예상되므로 쌍곡선법을 사용하는 것이 적절하며, 현장 압밀도가 37% 이상의 압밀계측 data를 적용하여 최종침하량을 예측하였을 때 설계허용잔류침하량 10cm 이내로 평가할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R111A3075110).

참고문헌 (References)

1. Asaoka, A. (1978), "Observational Procedure of Settlement Prediction", *Soils & Foundations*, Vol.18, No.4, pp.87-101.
2. Choo, Y., Kim, J., Hwang, S., and Chung, C. (2010), "The Optimization of Hyperbolic Settlement Prediction Method With the Field Data for Preloading on the Soft Ground", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.26, No.7, pp.147-159.
3. Chun, B. S. (2010), *Geotechnical Engineering-Theory and Practice*, Gumibook, pp.306-310.
4. Hosino (1962), "Problems of Foundations in Recent Years", *Society of Civil Engineering*, Vol.47, No.7, pp.63-67.
5. Korean Geo-Environmental Society (2005), *Korean Geotechnical Society Series 6 Soft Ground*, Gumibook, pp.495-526.
6. Lee, J., Jeong, J., Choi, S., and Chun, B. (2012), "A Study on the Applicability of Settlement Prediction Method Based on the Field Measurement in Gimpo Hangang Site", *Journal of the Korean Geo-Environmental Society*, Vol.13, No.12, pp.35-42.
7. Lee, S. W., Park, J. B., Kim, Y. S., Kim, S. J., Kim, S. W., and Chung, H. J. (1997), "A Study on the Evaluation of Reliability for Settlement Predictions by Hyperbolic Metho", *Journal of The Korean geotechnical Society*, Vol.13, No.6, pp.5-12.
8. Park, S.I. (2023), "A Study on Optimum Degree of Long-Term Consolidation Settlement Prediction of Soft Soils", Department of Civil Engineering Graduate School, Dongshin University.
9. Plaxis. (2018), *Plaxis 2d reference manual*. Delft, Netherlands: Plaxis.
10. Tan, S. A. (1994), "Hyperbolic Method for Settlements in Clays with Vertical Drains", *Can. Geotech. J.*, 31, pp.125-131
11. Yeongam-Haenam Tourism and Leisure Enterprise Urban Access Road Construction Ground Investigation Report (2015).
12. Yoo, H. K. and Kim, J. H. (2000), "A Study on the Prediction of Long-Term Settlement by the Modified Hyperbolic Method", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.16, No.3, pp.163-172.

Received : July 7th, 2023

Revised : August 2nd, 2023

Accepted : August 3rd, 2023